

# Релейная защита и автоматика систем электроснабжения

Практическое занятие. Теоретическая часть.

## Релейная защита распределительных сетей 6(10) кВ.

Составил: Кузнецов Д. Б.



**Распределительный пункт 10 кВ «Альпика», г. Белгород**



**Распределительный пункт 10 кВ с 2-мя силовыми трансформаторами и распределительным устройством низшего напряжения**



**Распределительный пункт 10 кВ с 2-мя силовыми трансформаторами и распределительным устройством низшего напряжения**

### **Распределительный пункт 6(10) кВ. Общие сведения.**

Распределительный пункт представляет собой распределительное устройство, состоящее из нескольких секций сборных шин, камер для оборудования, коридора управления и помещения для установки устройств защиты, автоматики и телемеханики. Сборные шины размещают в верхней части РП горизонтально на расстоянии не менее 0,5 м от перекрытия. Расстояние между сборными шинами различных фаз должно быть не менее 100 мм при напряжении 6 кВ и 130 мм при 10 кВ. Шины крепят к опорным изоляторам, установленным на металлических конструкциях или бетонных стенах. Секции шин РП разделяют секционным выключателем с секционными разъединителями.

Камеры РП в зависимости от вида установленного в них оборудования делятся на камеры выключателей, измерительных трансформаторов напряжения, разъединителей. В камерах выключателей установлены линейные разъединители с заземляющими ножами, трансформаторы тока, выключатели, шинные разъединители с заземляющими ножами. В камере трансформатора напряжения находятся трансформатор напряжения, предохранители и шинный разъединитель с заземляющими ножами, а также установлены заземляющие разъединители шин.

Во избежание ошибочных операций с разъединителями в камерах выключателей имеется блокировка, допускающая отключение разъединителей только при отключенном выключателе. Обычно применяют механическую блокировку.



В камерах с заземляющими разъединителями имеется дополнительная механическая блокировка, не позволяющая включить заземляющие ножи при включенном шинном или линейном разъединителе и, наоборот, шинный или линейный разъединитель при включенных заземляющих ножах.

В распределительном пункте имеются также измерительные приборы, реле защиты и автоматики, заземляющее устройство. Коридор управления представляет собой помещение, где установлены приводы выключателей и разъединителей. Широкое

применение находят РП, *совмещенные с трансформаторной подстанцией*. В состав такой ТП входит распределительное устройство 6, 10 кВ, один или два силовых трансформатора и распределительное устройство 0.4 кВ.

Устройства релейной защиты, устанавливаются на верхних дверцах камер.

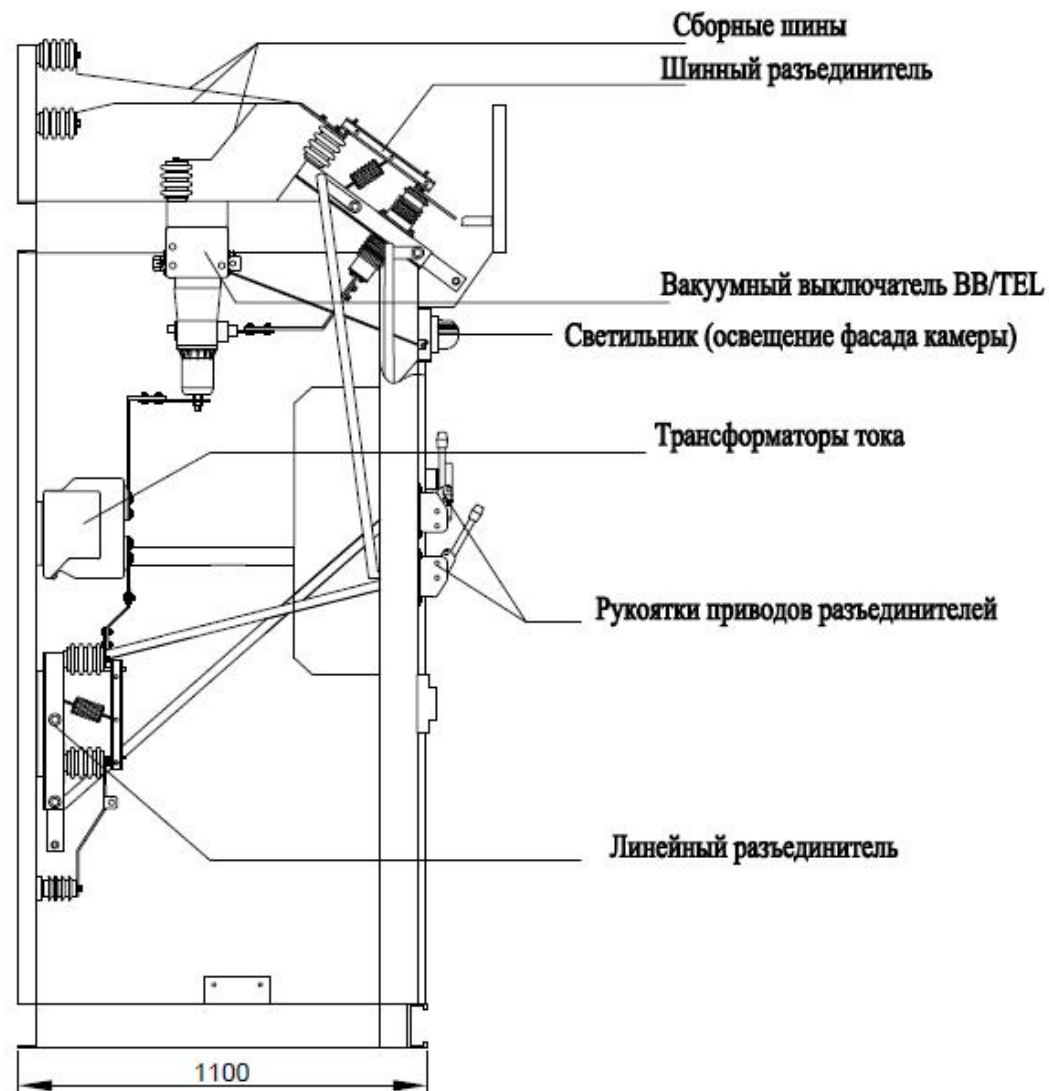
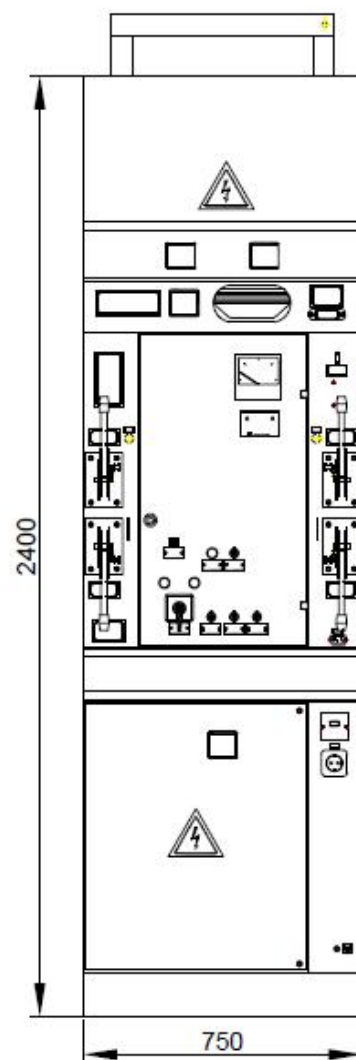
*Камеры сборные одностороннего обслуживания* серии (далее КСО) предназначены для приема и распределения электроэнергии трехфазного переменного тока частотой 50 Гц напряжением 6 – 10 кВ в





сетях с изолированной или заземленной через дугогасящий реактор нейтралью. КСО применяются в составе РУ напряжением 6 – 10 кВ. По назначению камеры подразделяются на вводные, секционные, трансформаторов напряжения, камеры отходящих линий и трансформаторов собственных нужд.

## Общий вид камеры КСО-298 с вакуумным выключателем ВВ/TEL







**Размещение устройств РЗА на монтажной панели дверцы камеры**



**Размещение аппаратуры управления выключателем и указательных реле на дверце**



**Вакуумный выключатель BB/TEL**



**Камеры КСО. Вид сзади. Трансформаторы тока ТПОЛ-10 установлены в фазах А и С**

Задача данного практического занятия – научиться правильно выбирать устройства релейной защиты для ячеек (камер КСО) отходящих линий, питающих ЛЭП 6(10) кВ.

### **Линии электропередачи 6(10) кВ. Общие сведения.**

Линии электропередачи (ЛЭП) 6-10 кВ обеспечивают передачу электроэнергии от электрических подстанций (распределительных пунктов) до конечных потребителей (населенных пунктов, предприятий) и формируют основу распределительных электрических сетей (РЭС). Все линии делятся на воздушные и кабельные. Встречаются кабельно-воздушные (КВЛ). Линии, состоящие из проводов, опор и вспомогательного оборудования, проходящие по воздуху над землей, – это воздушные линии электропередач. Они еще называются ВЛЭП или ВЛ. Участки ВЛ могут проходить по конструкциям мостов, путепроводов.





**ВЛ 10 кВ с установленной КТП**

Кабельные ЛЭП представляют собой несколько линий, установленные рядом друг с другом в параллельном направлении. Длины кабеля для этого бывает недостаточно, поэтому между участками устанавливаются соединительные муфты. Кстати, нередко можно встретить кабельные линии электропередач с маслонаполнением, поэтому такие сети часто укомплектовываются специальной малонаполнительной аппаратурой и системой сигнализации, которая реагирует на давление масла внутри кабеля.



**Кабельная ЛЭП**

Режим работы ЛЭП 6(10) кВ - *с изолированной нейтралью*. Средняя точка трансформаторов не соединяется с заземляющим устройством. Такие ВЛ не будут отключаться защитами при однофазных КЗ (обрыв и падение одного провода на землю). Для компенсации емкостных токов оставшихся фаз могут применяться дугогасящие реакторы, устанавливаемые на питающих узлах (подстанциях).



К ЛЭП подключаются *комплектные трансформаторные подстанции (КТП)*. КТП представляет из себя закрытое от посторонних людей распределительное устройство, внешне напоминающее вагон, будку, киоск и устанавливаемое в непосредственной близости от конечного потребителя. Внутри КТП располагается силовое оборудование (вводные кабели, трансформаторы, разрядники, ограничители напряжения, разъединители защитные устройства, как правило в виде предохранителей и выключателей нагрузки, трансформаторы тока и отходящие линии 0,4 кВ непосредственно к потребителю), находящееся под напряжением.

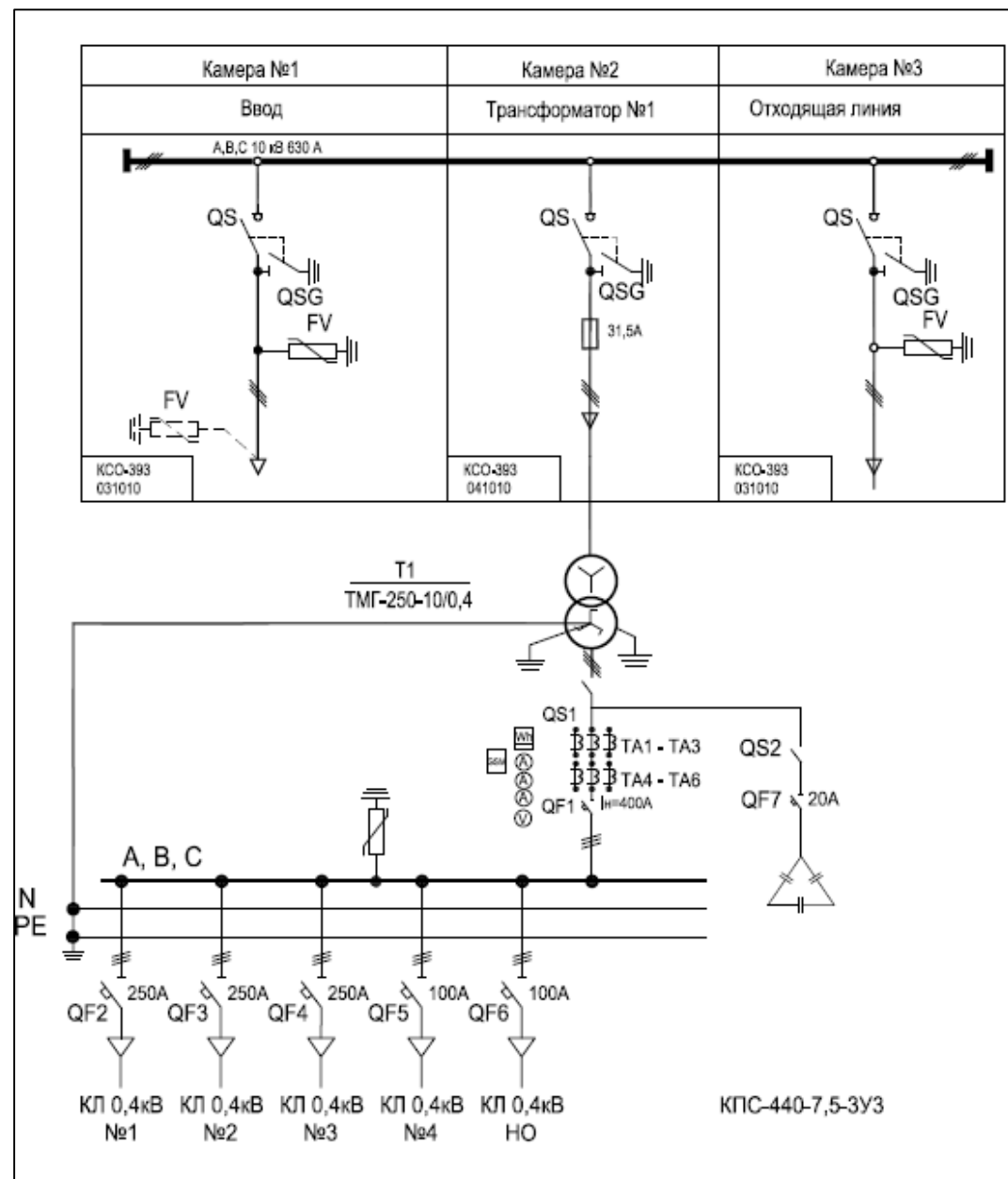




**Однотрансформаторное КТП 6/0,4 кВ мощностью 400 кВА с воздушным вводом и воздушными выводами**

Как правило, силовой трансформатор со стороны высокого напряжения в КТП мощностью до 1000 кВА защищается высоковольтными предохранителями а со стороны низшего напряжения – предохранителями или автоматическими выключателями, как показано на рисунке:





**Принципиальная однолинейная схема КТП**



**Отсек силового трансформатора КТП**

В проектной практике трансформаторы трансформаторных подстанций часто выбирают по расчетной нагрузке объекта и рекомендуемым коэффициентам экономической загрузки трансформаторов в соответствии с данными таблицы.

**Рекомендуемые коэффициенты загрузки трансформаторов КТП**

Коэффициент загрузки трансформатора	Вид трансформаторной подстанции и характер нагрузки
0,65 ... 0,7	Двух трансформаторные ТП с преобладающей нагрузкой I категории
0,7 ... 0,8	Одно трансформаторные ТП с преобладающей нагрузкой II категории при наличии взаимного резервирования по перемычкам с другими подстанциями на вторичном напряжении
0,9 ... 0,95	трансформаторные подстанции с нагрузкой III категории или с преобладающей нагрузкой II категории при возможности использования складского резерва трансформаторов



### **Постановка задачи.**

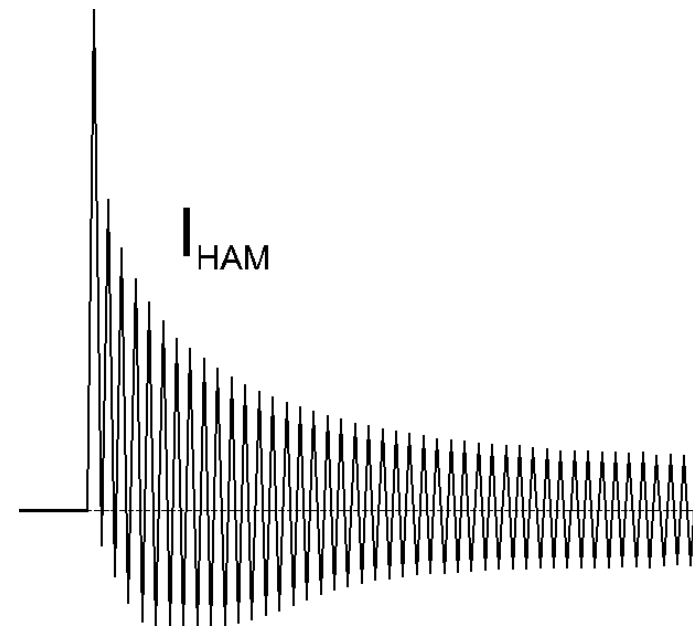
В ходе практических занятий по теме «*Релейная защита распределительных сетей 6(10) кВ*» студентам необходимо:

- Освоить методику выбора и проверки трансформаторов тока, устанавливаемых в камере КСО, от которой производится питание ЛЭП 6(10) кВ;
- Научиться рассчитывать простые токовые защиты ЛЭП 6(10) кВ с односторонним питанием на электромеханических реле с независимой характеристикой срабатывания и согласовывать их с нижестоящими защитами (характеристиками срабатывания предохранителей стороны ВН в КТП);
- Производить проверку выбранных и согласованных защит по чувствительности к минимальным токам коротких замыканий «на конце линии».

### Что необходимо знать о ЛЭП 6(10) кВ?

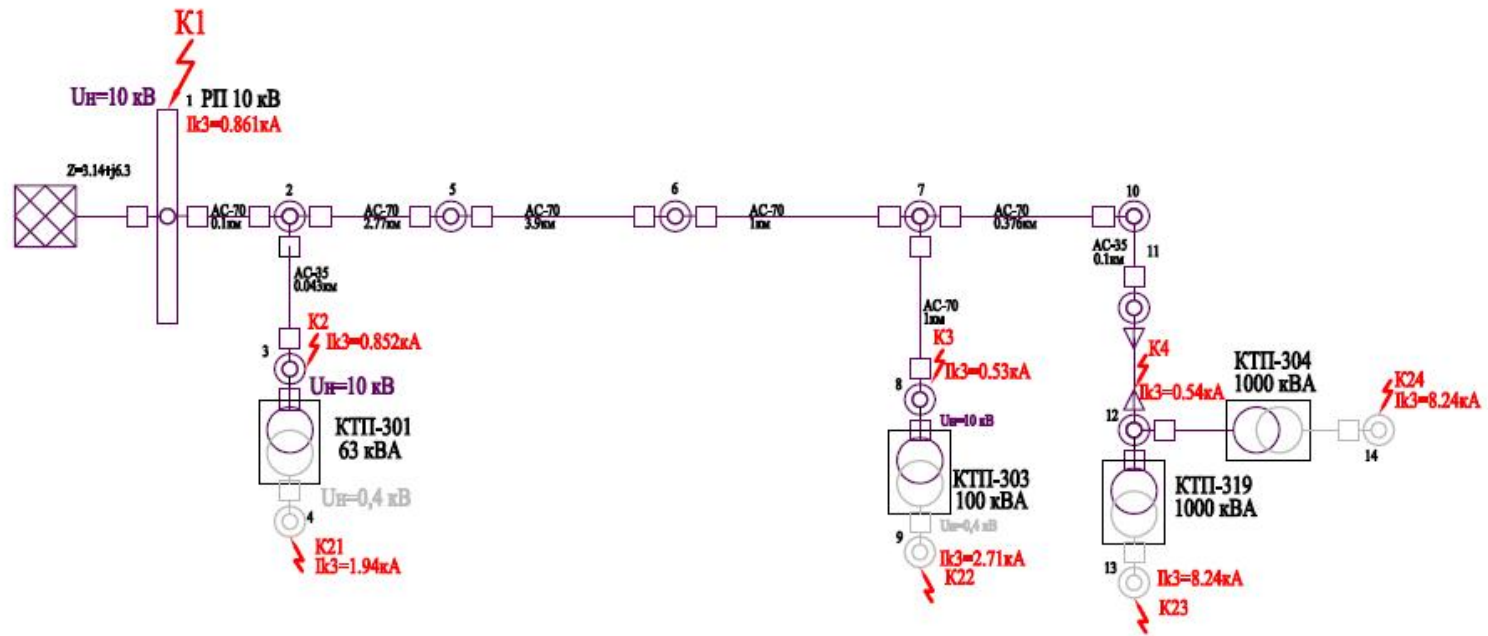
1. Максимальный рабочий ток ЛЭП 6(10) кВ.
2. Номинальную мощность силовых трансформаторов КТП.
3. Значения максимальных и минимальных токов короткого замыкания в узлах ЛЭП.
4. Величину *броска токов намагничивания (БТН)* силовых трансформаторов в установленных на ЛЭП 6(10) кВ КТП.

**Что такое БТН?** Это кратковременный ток намагничивания трансформатора, превышающий номинальный ток нагрузки ( $(3 \div 5) \cdot I_n$ ), возникающий при включении трансформатора под напряжение или при его восстановлении (см. рисунок).

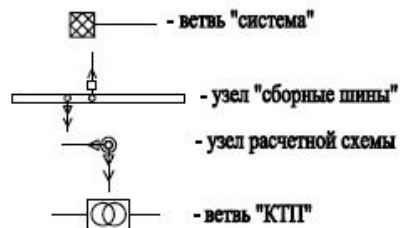


5. Величину максимального тока КЗ на стороне 0,4 кВ «за трансформатором» наиболее мощной КТП, включенной в ЛЭП. Данное значение должно быть приведено к стороне высшего напряжения.

## Расчетная схема ВЛ 10 кВ



Условные обозначения элементов расчетной схемы



Цветовое исполнение классов напряжения

- $U_H=10$  кВ
- $U_H=6$  кВ
- $U_H=0,4$  кВ

1. Какова величина максимального рабочего тока ВЛ 10 кВ, изображенной на расчетной схеме? В линию включены однострансформаторные КТП-301 номинальной мощностью 63 кВА, КТП-303 – 100 кВА, КТП 319 и 304 мощностью 1000 кВА. Рекомендуемый коэффициент загрузки для каждой КТП один и тот же – 0,8. Таким образом, максимальный рабочий ток в линии:

$$I_{\text{раб.мах}} = \frac{K_z * (S_{\text{КТП}}^{301} + S_{\text{КТП}}^{303} + S_{\text{КТП}}^{304} + S_{\text{КТП}}^{319})}{\sqrt{3} * U_{\text{ном}}} \quad (1)$$

где:  $K_z$  - рекомендуемый коэффициент загрузки трансформатора КТП;

$S_{\text{КТП}}^{3**}$  - номинальная мощность КТП;

$U_{\text{ном}}$  - номинальное напряжение ЛЭП

$$I_{\text{раб.мах}} = \frac{0,8 * (63 [\text{кВА}] + 100 [\text{кВА}] + 1000 [\text{кВА}] + 1000 [\text{кВА}])}{\sqrt{3} * 10 [\text{кВ}]} \approx 100 [\text{А}]$$



2. Какова величина минимального тока короткого замыкания в линии? На расчетной схеме в узлах 10 и 0,4 кВ указаны значения 3-фазных КЗ (в килоамперах). В сети 6, 10 и 35 кВ возможны 3-фазные и 2-фазные короткие замыкания. Замыкания одной фазы на землю не вызывает короткого замыкания, т.к. э.д.с. повреждённой фазы не шунтируется появившимся соединением с землёй. Возникающий в месте повреждения ток замыкается через ёмкость проводов относительно земли и имеет небольшую величину, например, несколько десятков ампер.

Выражение для определения тока 2-фазного КЗ через значение тока 3-фазного следующее:

$$I_{K2} = \frac{\sqrt{3}}{2} * I_{K3} \approx 0,87 * I_{K3} \quad (2)$$

Минимальное из 3-фазных коротких замыканий в сети 10 кВ нашей расчетной схемы (КЗ «на конце линии») составляет 0,53 кА.

$$I_{K_{min}} = 0,87 * 0,53 \text{ [кА]} = 0,46 \text{ [кА]}$$

3. Как определить величину броска токов намагничивания силовых трансформаторов в установленных на ЛЭП КТП? Величина БТН превышает в 3...5 раз величину номинального тока трансформатора. Для нашей линии 10 кВ:

$$I_{\max}^{БТН} = \frac{5 * (S_{КТП}^{301} + S_{КТП}^{303} + S_{КТП}^{304} + S_{КТП}^{319})}{\sqrt{3} * U_{ном}} \quad (3)$$

$$I_{\max}^{БТН} = \frac{5 * (63 [\text{кВА}] + 100 [\text{кВА}] + 1000 [\text{кВА}] + 1000 [\text{кВА}])}{\sqrt{3} * 10 [\text{кВ}]} \approx 625,2 [\text{А}]$$

4. На расчетной схеме ВЛ «за трансформаторами» в КТП-304 и КТП-319 ток 3-фазного КЗ составляет:

$$I_{K3}^{K24} = I_{K3}^{K23} = 8,24 \text{ [кА]}$$

Ток 3-фазного КЗ, приведенный к стороне высшего напряжения равен:

$$\dot{I}_{K3}^{K24} = \dot{I}_{K3}^{K23} = \frac{\dot{I}_{K3}^{K23}}{K_T}$$

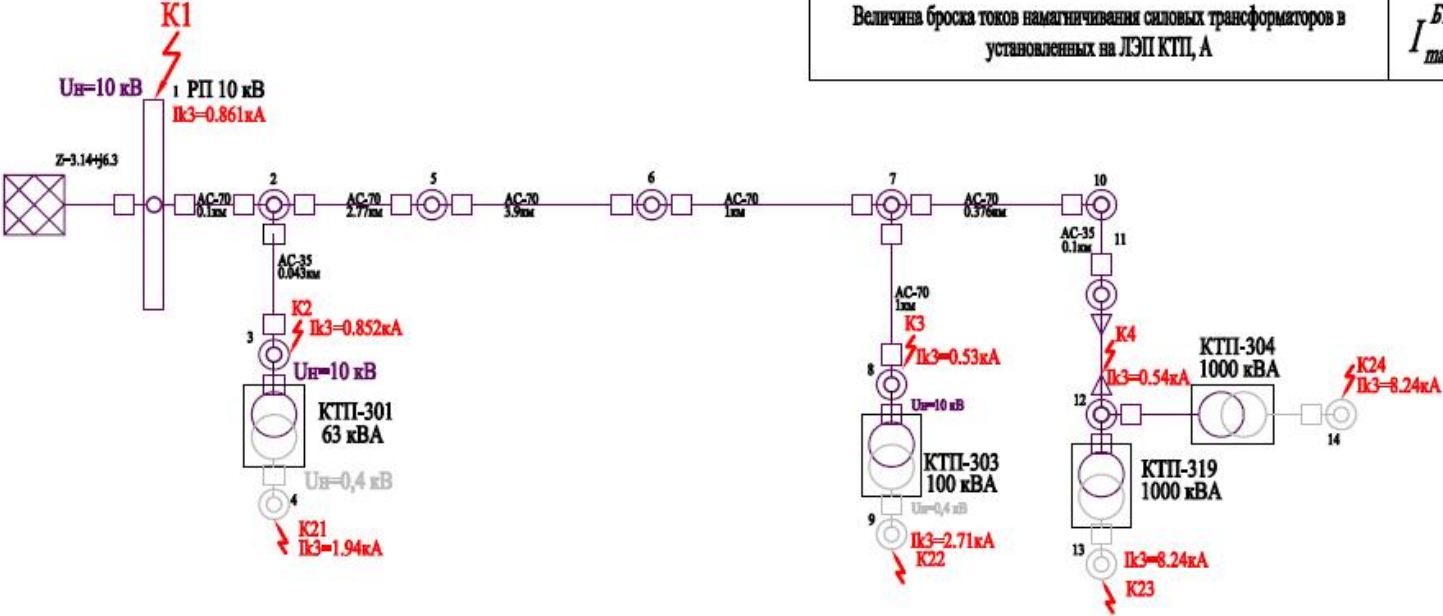
где  $K_T$  - коэффициент трансформации силового трансформатора:  $K_T = \frac{U_{НОМ}^{ВН}}{U_{НОМ}^{НН}}$

$$\text{в нашем случае } K_T = \frac{10 \text{ [кВ]}}{0,4 \text{ [кВ]}} = 25$$

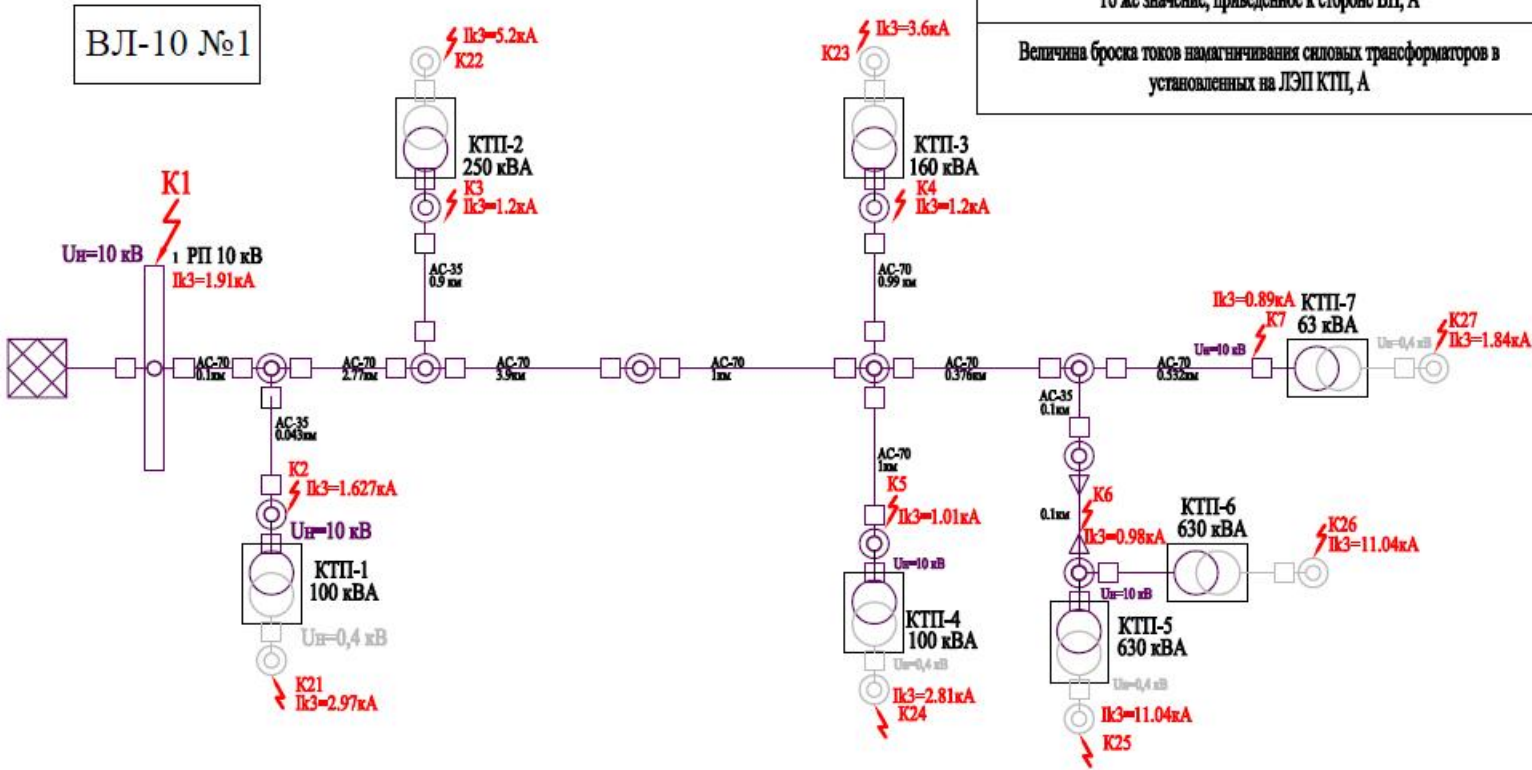
$$\dot{I}_{K3}^{K24} = \dot{I}_{K3}^{K23} = \frac{8,24 \text{ [кА]}}{25} \approx 0,33 \text{ [кА]} = 330 \text{ [А]}$$

5. Полученные результаты представим в таблице:

Параметр, ед.изм.	Обозн.	Значение
Номинальное напряжение стороны ВН, кВ	$U_{ном}^{ВН}$	10
Максимальный рабочий ток ЛЭП, А	$I_{раб.мах}$	100
Максимальный ток 3-ф КЗ на стороне ВН, кА	$I_{КЗмах}$	0,861
Минимальный ток КЗ "на конце линии", кА	$I_{КЗmin}$	0,46
Максимальный ток 3-ф КЗ на стороне НН "за трансформатором", кА	$I_{КЗмах}^{НН}$	8,24
То же значение, приведенное к стороне ВН, А	$I_{КЗмах}^{НН}$	330
Величина броска токов намагничивания силовых трансформаторов в установленных на ЛЭП КТП, А	$I_{мах}^{БТН}$	625,2

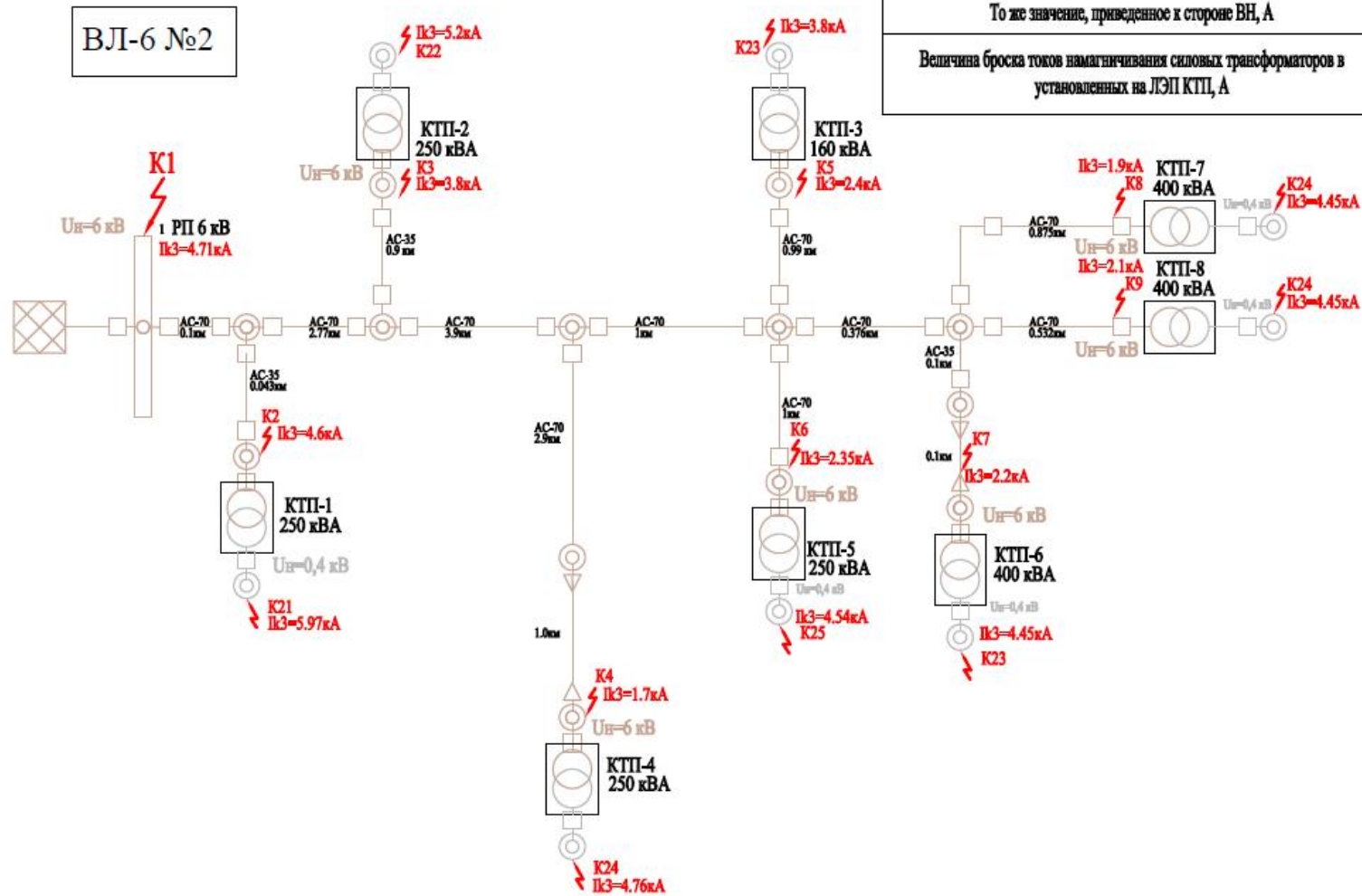


Далее приводится несколько схем ЛЭП для самостоятельного решения студентами в аудитории:



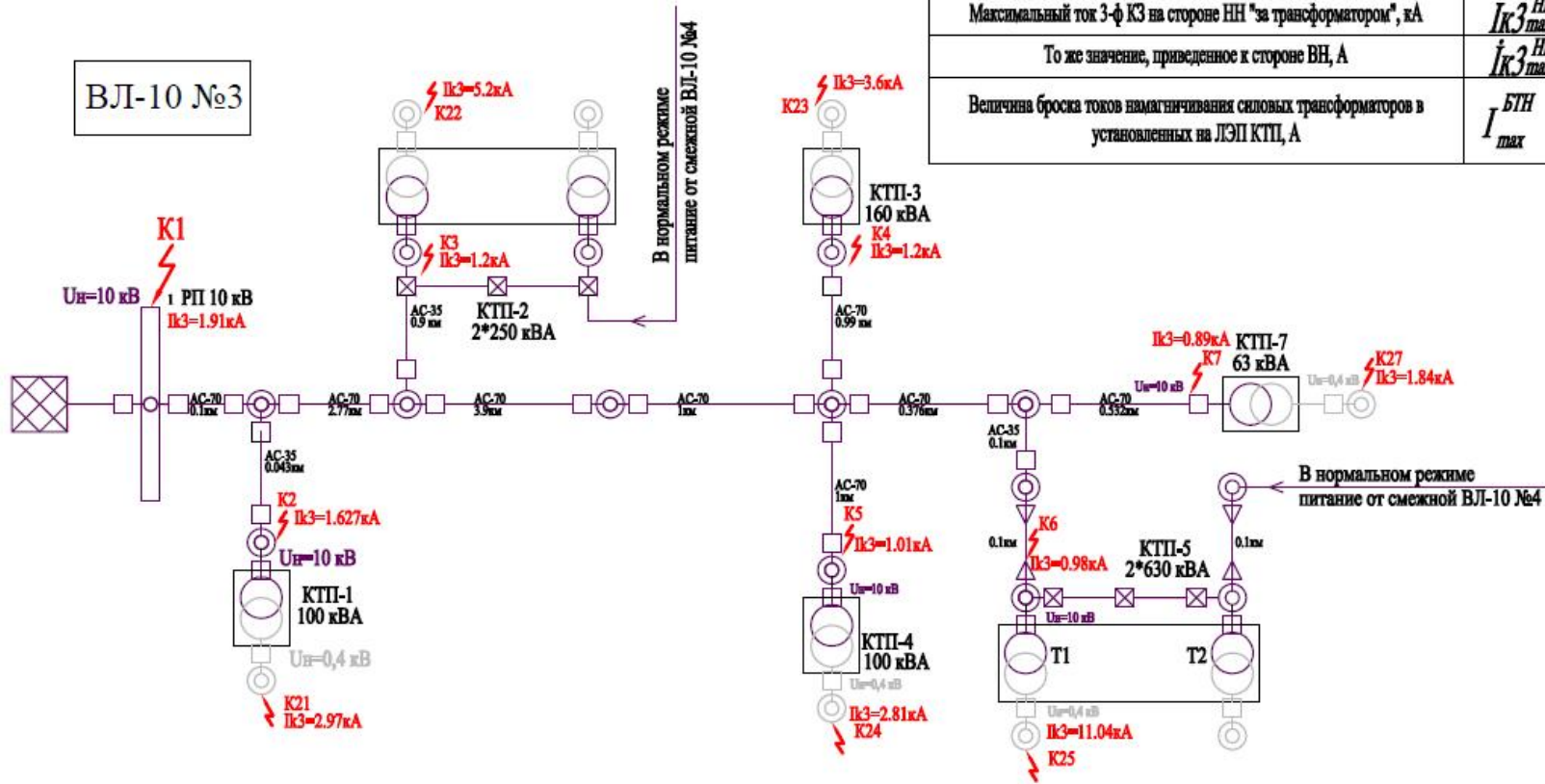
Параметр, ед.изм.	Обози.	Значение
Номинальное напряжение стороны ВН, кВ	$U_{ном}$	
Максимальный рабочий ток ЛЭП, А	$I_{р.б.т.а.х}$	
Максимальный ток 3-ф КЗ на стороне ВН, кА	$I_{к3 т.а.х}$	
Минимальный ток КЗ "на конце линии", кА	$I_{к3 м.и.н}$	
Максимальный ток 3-ф КЗ на стороне НН "за трансформатором", кА	$I_{к3 т.а.х}^{НН}$	
То же значение, приведенное к стороне ВН, А	$I_{к3 т.а.х}^{НН}$	
Величина броска токов намагничивания силовых трансформаторов в установленных на ЛЭП КТП, А	$I_{б.т.н т.а.х}$	



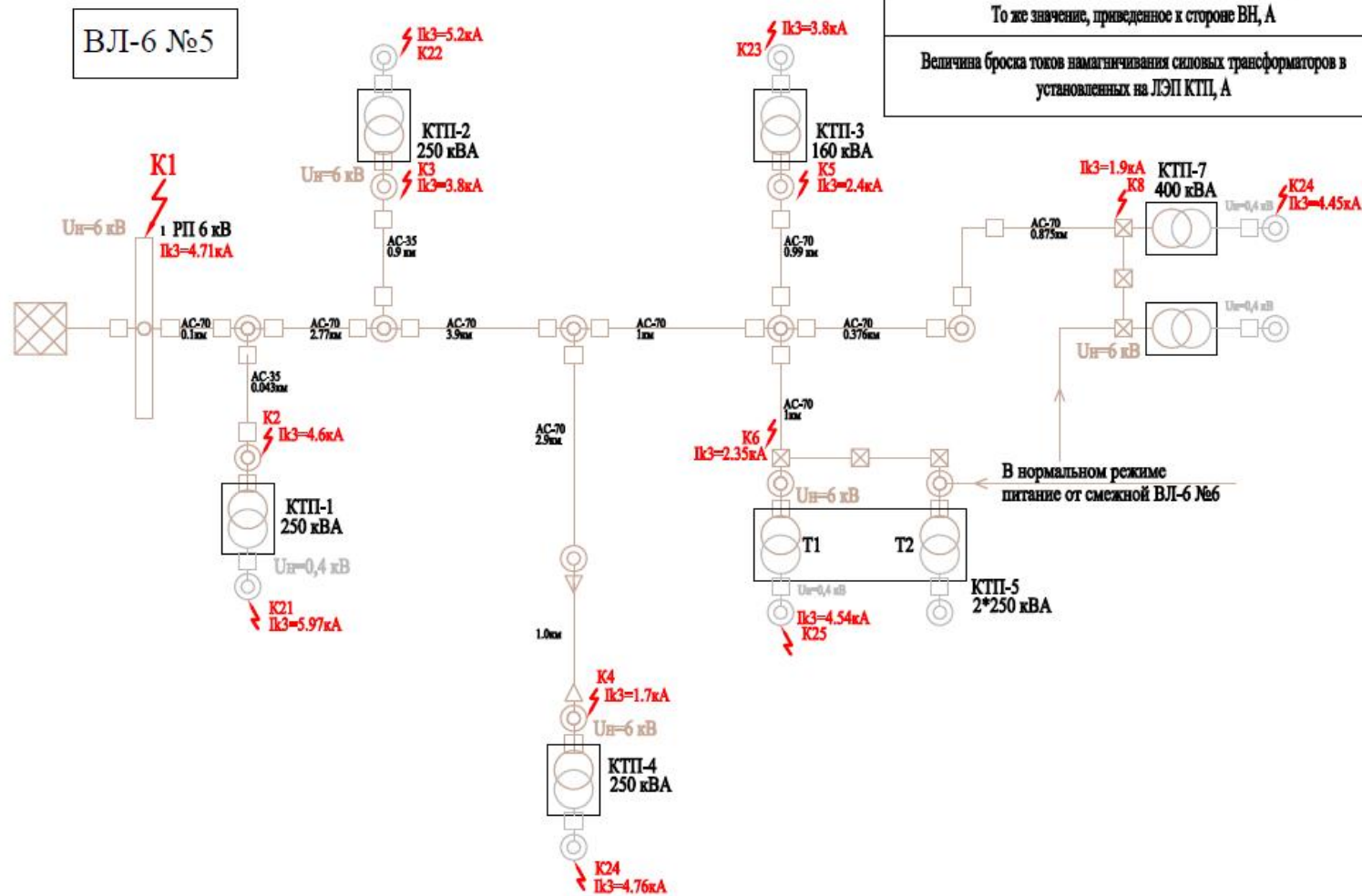


Параметр, ед.изм.	Обозн.	Значение
Номинальное напряжение стороны ВН, кВ	$U_{ном}^{ВН}$	
Максимальный рабочий ток ЛЭП, А	$I_{раб.мах}$	
Максимальный ток 3-ф КЗ на стороне ВН, кА	$I_{к3мах}^{ВН}$	
Минимальный ток КЗ "на конце линии", кА	$I_{к3min}$	
Максимальный ток 3-ф КЗ на стороне НН "за трансформатором", кА	$I_{к3мах}^{НН}$	
То же значение, приведенное к стороне ВН, А	$I_{к3мах}^{ВН}$	
Величина броска токов намагничивания силовых трансформаторов в установленных на ЛЭП КТП, А	$I_{мах}^{БТН}$	

А теперь несколько усложним задачу:



Параметр, ед.изм.	Обозн.	Значение
Номинальное напряжение стороны ВН, кВ	$U_{H\text{ ном}}$	
Максимальный рабочий ток ЛЭП, А	$I_{\text{раб.тах}}$	
Максимальный ток 3-ф КЗ на стороне ВН, кА	$I_{k3\text{ тах}}$	
Минимальный ток КЗ "на конце линии", кА	$I_{k\text{ min}}$	
Максимальный ток 3-ф КЗ на стороне НН "за трансформатором", кА	$I_{k3\text{ тах}}^{HH}$	
То же значение, приведенное к стороне ВН, А	$I_{k3\text{ тах}}^{HH}$	
Величина броска токов намагничивания силовых трансформаторов в установленных на ЛЭП КТП, А	$I_{\text{БТН тах}}$	



Параметр, ед.изм.	Обозн.	Значение
Номинальное напряжение стороны ВН, кВ	$U_{ном}^{ВН}$	
Максимальный рабочий ток ЛЭП, А	$I_{раб.лэп}$	
Максимальный ток 3-ф КЗ на стороне ВН, кА	$I_{k3}^{max}$	
Минимальный ток КЗ "на конце линии", кА	$I_{kmin}$	
Максимальный ток 3-ф КЗ на стороне НН "за трансформатором", кА	$I_{k3}^{НН}$	
То же значение, приведенное к стороне ВН, А	$\dot{I}_{k3}^{НН}$	
Величина броска токов намагничивания силовых трансформаторов в установленных на ЛЭП КТП, А	$I_{бтн}^{max}$	

Научившись определять параметры ЛЭП 6(10) кВ, необходимые для расчетов уставок релейной защиты, перейдем к рассмотрению основных методик. Данной теме будет посвящена следующая презентация.